

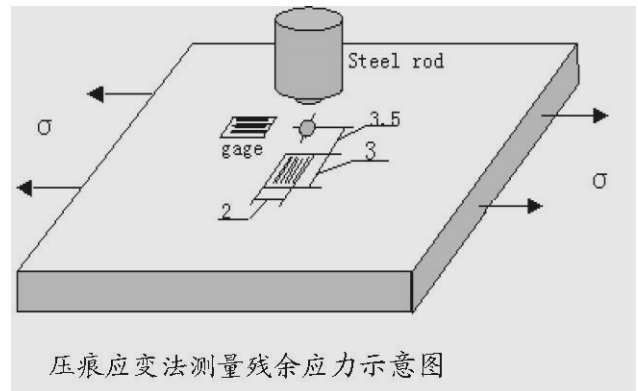
一、压痕应变法的基本原理

与盲孔法相似，压痕应变法也采用电阻应变片作为测量用敏感元件，在应变花中心部位采用冲击加载制造压痕以代替钻孔，通过应变仪记录压痕区外弹性区应变增量的变化，从而获得对应于残余应力大小的真实弹性应变，求出残余应力的大小，见示意图。真实弹性应变的求解方法直接按标定公式进行计算，目前它还需要像盲孔法那样事先对要测的材料进行简单的标定。

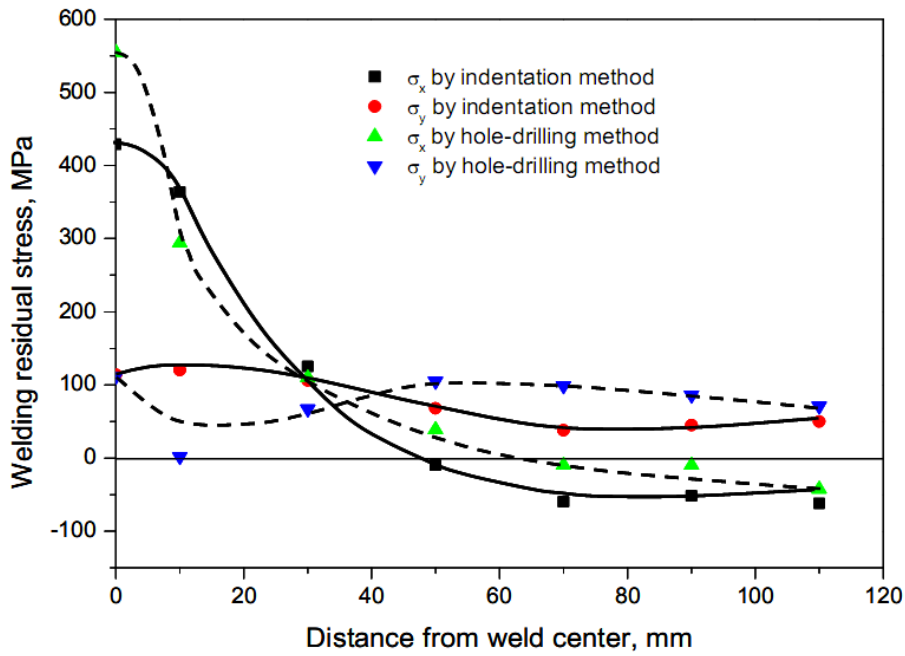
为了得到对称的附加应力场，采用直径1.5mm的硬质合金钢球制造压痕。将带有钢球的一端垂直置于欲制压痕的位置（应变花轴线中心），以一定动量冲击支撑杆的另一端。压痕诱导的叠加应变增量由事先粘贴的应变花测取。

早期的研究表明，动载压痕下的两条基本规律是：1) 相同尺寸的球形压痕在残余应力场的主应力方向上产生的应变增量与残余应力场中的主应变成正比；2) 在相同的残余应力场中，主应力方向上的球形压痕直径与距压痕中心固定距离处的应变增量成正比。

压痕应变法和应力释放法相反，它是通过叠加应力场引起的应变增量计算原始残余应力。在含有残余应力的构件表面，贴上双向或三向应变花，应变栅的方向应尽量与主应力方向一致（当残余应力幅值小于0.5倍材料屈服点时可以不作此要求）。在应变片的交点中心打击一个压痕，通过测量输出应变值，采用事先在实验室标定得到的计算常数，按胡克定律即可计算出沿应变片方向原始残余应力。



从已有工程应用结果看，这类方法既有应力释放法的优点，测试设备相对简单，测试结果准确可靠，又有物性法的优点，被测件表面无明显损伤（压痕直径约1.2mm，深度0.2mm），属于无损应力检测方法。对表面应力梯度大的残余应力分布测量更有独到之处。下图为压痕应变法和盲孔法测量16Mn钢板（28mm厚）中的焊接残余应力的结果对比，可以看出该方法要优于盲孔法。



压痕法和盲孔法焊接应力测试结果

二、典型用户(截止至2011年)

- 1、 贵州有色金属工业七冶压力容器厂
- 2、 吉林省电力科学研究所
- 3、 四川德阳二重集团大型铸件研究所
- 4、 上海宝冶工程技术有限公司
- 5、 上海宝钢汽车产品中心
- 6、 大连理工大学材料学院
- 7、 武汉钢铁（集团）公司技术中心
- 8、 贵阳白云铝工业设备制造厂
- 9、 大连理工大学船舶工程学院
- 10、 中国船舶重工集团公司725所
- 11、 机械科学院哈尔滨焊接研究所
- 12、 西安交通大学材料学院
- 13、 哈尔滨工业大学材料学院
- 14、 国电郑州机械设计研究所
- 15、 水利部金属结构质量检验检测中心
- 16、 清华大学力学研究所
- 17、 华北电力科学研究所
- 18、 华中科技大学力学中心

三、有关研究成果

1、发表文章

- [1] 陈亮山, 董秀中, 潘兴. 冲击压痕测定残余应力研究. 青岛:第七届全国焊接学术会议论文集(5), 1993: 21—24.
- [2] 陈怀宁,林泉洪,陈静等. 冲击压痕法测量残余应力中的塑性区问题. 焊接学报, 2001.22(5):21—23.
- [3] 曲鹏程. 屈服强度对压痕应变法测量残余应力的影响. 沈阳:中国科学院金属研究所硕士学位论文,2006.
- [4] 曲鹏程 陈怀宁 林泉洪 孟宪陆.屈服强度对压痕应变法测量焊接应力中应变增量的影响, 机械强度, 2007, 29 (6) : 904-907
- [5] Lin Quanhong and Chen Huaining: Study of measuring residual stresses by impact indentation method, Materials Science Forum, Vols.490-491, 2005.7: 196-201
- [6] 陈怀宁, 林泉洪, 曲鹏程. 压痕法测量焊接应力中的几个基本问题. 第十一届全国焊接学术会议论文集(2), 2005: 116—119.
- [7] 陈怀宁, 林泉洪等.压痕应变法测量焊缝应力时的近似修正方法[J], 焊接学报, 2006,27 (8) : 27-30.
- [8] 孟宪陆. 不同应力场中压痕应变法的数值模拟 (硕士论文), 中国科学院研究生院, 2007
- [9] 孟宪陆 陈怀宁 林泉洪 陈静.压痕应变法中压痕周围应力应变的分布规律[J], 焊接学报, 2008, 29 (3) : 109-112
- [10] 陈怀宁 陈静.压痕应变法应力测量中双向应变增量的变化规律[(大会邀请报告)],轻金属焊接关键基础研究, 中青年学者学术论坛,2008.8. 西安
- [11] 于哲夫. 冲击压痕法测量残余应力.硕士学位论文 (沈阳建筑工程学院, 中科院金属研究所) ,2001.
- [12] 陈静 黄春玲 陈怀宁.三点弯曲标定实验中双向主应变之间的关系, 兵器材料科学与工程, 2008, 31 (6) : 37-40
- [13] 陈怀宁 胡楷雄 吴昌忠. 压痕应变法测量残余应力的不确定度分析, 中国测试技术, 2009.10

2、授权专利

- 一种残余应力测量方法, 01106312.2, 2001年
- 定点压痕制造装置 (ZL 01 1 13812.2) , 2000年
- 冲击压痕法测量残余应力制造装置 (ZL 01 2 41004.7) , 2002年
- 一种智能应力测试仪 (ZL 01 2 41657.6) , 2002年
- 压痕自动测量装置 (ZL 01 2 50577.3) , 2002年

3、国家标准

- GB/T 24179—2009 《金属材料 残余应力测定 压痕应变法》